

# Prediction of the Starting and Ending of Freezing Periods of Ardabil Province by Using HADCM3 Climatic Model

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Sobhani B.<sup>1</sup> PhD

Goldust A.\* MA

### How to cite this article

Sobhani B, Goldust A. Prediction of the starting and ending of freezing periods of Ardabil province by using HADCM3 climatic model. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(2):191-205.

<sup>1</sup>Department of Natural Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

\*Department of Meteorology, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

### \*Correspondence

Address: Department of Meteorology, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Phone: -

Fax: -

Akbar.goldust@gmail.com

### Article History

Received: -

Accepted: -

ePublished: -

## ABSTRACT

**Introduction and Background** One of the causes of the widespread damages caused by frost is the fact that its dimensions and nature are unknown. The prediction of frosts is one of the issues that, if implemented, can be a very great help in reducing the adverse effects of this phenomenon.

**Aims** In this research, daily minimum temperature is predicted for analyzing the start and end of freezing period in Parsabad, Ardabil and Khalkhal stations for next three periods 2011- 2030, 2046-2065 and 2080 - 2099.

**Methodology** Used data was data related to meteorological models, daily rainfall data, max and min temperature and sunny hours from 1996 to 2016. First, to choose the efficient model of general circulation of atmosphere, the results of nine climatic models were compared, and HADCM3 model was selected as the best model. This model's output was down scaled by LARS-WG downscaling method. This method is very effective in downscaling of applied model's output. After simulation of daily minimum temperature for future periods; with regard to being correct of real data from 2011 to 2016; simulated data was compared with real data.

**Conclusion** Results showed that simulated data don't have significant difference with station's real data. Therefore, meteorological model of HADCM3 has acceptable capability in this simulation. According to the results obtained from this research, minimum mean temperature of stations in future years will be increasing. Date of freezing starting is delayed eventually in future periods and starting and ending date of them is closed together over the time and freezing period duration is more shortened. Date of freezing starting in Khalkhal station was the first day of October through 7th of October, in Ardabil station between 9th of October through 30th October and in Parsabad station between 10th of November through 8th of December. Date of freezing ending in Khalkhal station was estimated 13th of April through 18th of May, in Ardabil station between 17th of April through 18th May and in Parsabad station between 26th April through 28th of March.

**Keywords** Prediction; Freezing; HadCM3; Ardabil Province

## CITATION LINKS

[Ababaei, et al; 2010] Effect of climate change ...; [Abbasi, et al; 2012] Estimation of Iran's climate ...; [Ahmadi, et al; 2015] Investigating the effects of ...; [Aliyari, et al; 2008] Short-term prediction of air ...; [Andersen, et al; 2006] Climate-change impacts on hydrology ...; [Ashofte & Bozorg Hadad; 2015] Assessments of risk-based of crops ...; [Ashraf, et al; 2011] Preliminary estimation of sugar beet ...; [Babaeian & Kouhi; 2011] Evaluation of agricultural climate ...; [Bahmanesh, et al; 2015] Effect of climate change on ...; [Dai, et al; 1997] Surface observed global land ...; [Darand & Masoodian; 2015] Waiting time of frost ...; [Ekström, et al; 2005] New estimates of future changes in ...; [Elguindi & Giorgi; 2006] Simulating multi-decadal variability of ...; [Hejazizadeh, et al; 2012] Evaluating the effect of climate change on ...; [Hejazizadeh & Naserzadeh; 2005] Calculating and analyzing ...; [Kazemirad & Mohammadi; 2015] Evaluation of the proper model of ...; [Khaliliaghdam & Soltani; 2009] Assessment of climate change ...; [Khaliliaqdam, et al; 2013] Evaluation of ability of LARS-WG ...; [Khosravi, et al; 2015] Simulation of climate change in ...; [Livingston, et al; 2016] Differences between wheat ...; [Mahdi zadeh, et al; 2011] Investigating the Effect of Climate ...; [Mahmoudi, et al; 2015] Relationship between tele ...; [Mahmoudi, et al; 2013] Atlas of climatology of ...; [Massoudian & Darand; 2015] Investigating the trend of the number ...; [Mirmosavi & Hosseinbabai; 2011] Study of temporal-spatial ...; [Modaresi, et al; 2011] Investigating the effect of climate ...; [Mozaffari; 2013] Investigation of the process of ...; [Omidvar & Aslani; 2014] Analyzing and analyzing the temporal and ...; [Osati, et al; 2015] Trend analysis of streamflow in Karkheh Rivers: ...; [Reinsdorf & Koch; 2013] Modeling crown temperature of winter ...; [Rezaei Banafsheh, et al; 2015] Investigating the effect of climate change ...; [Sarafroozeh, et al; 2012] Evaluation of the effects of future climate ...; [Semenov, et al; 1998] Comparison of the WGEN and ...; [Soltani & Ghoolipour; 2006] Simulation of the effect of climate ...; [Steele-Dunne, et al; 2008] The impacts of climate change on hydrology ...; [Yao, et al; 2007] Assessing the impacts of climate ...

## پیش‌بینی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌های استان اردبیل با استفاده از خروجی مدل اقلیمی HADCM3

دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۴

پذیرش نهایی: ۹۷/۳/۲۳

DOI: 10.29252/geores.33.2.191

### چکیده

**مقدمه:** یکی از علل گسترده بودن خسارات ناشی از یخبندان، ناشناخته ماندن ابعاد و ماهیت آن می‌باشد. پیش‌بینی یخبندان‌ها یکی از مسائلی است که در صورت اجرایی شدن آن می‌تواند کمک بسیار بزرگی در جهت کاهش اثرات سوء این پدیده باشد. **اهداف:** در این پژوهش دمای حداقل روزانه جهت تحلیل آغاز و پایان یخبندان ایستگاه‌های پارس‌آباد، اردبیل و خلخال، برای سه دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ پیش‌بینی می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** داده‌های مورد استفاده داده‌های مربوط به مدل‌های اقلیمی، داده‌های روزانه بارندگی، دمای کمینه و بیشینه و ساعات آفتابی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. ابتدا برای انتخاب مدل کارآمد گردش عمومی جو، نتایج ۹ مدل اقلیمی باهم مقایسه گردید. مدل HADCM3 به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. خروجی این مدل با روش ریز گردانی LARS-WG کوچک‌مقیاس گردید. این روش کارایی بالایی در ریز گردانی خروجی مدل مورد استفاده داشت. پس از شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه دوره‌های آینده؛ با توجه به در دست بودن داده‌های واقعی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶؛ داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی مقایسه گردید.

**نتیجه‌گیری:** داده‌های شبیه‌سازی شده تفاوت چشم‌گیری با داده‌های واقعی ایستگاه‌ها ندارند. بنابراین مدل اقلیمی HADCM3 توانایی قابل قبولی در این شبیه‌سازی دارد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش میانگین دمای حداقل ایستگاه‌ها در سال‌های آینده افزایش می‌یابد. تاریخ آغاز یخبندان‌ها در دوره‌های آینده رفته‌رفته به تأخیر خواهد افتاد و تاریخ شروع و پایان آن‌ها باگذشت زمان به هم نزدیک‌تر شده و طول دوره یخبندان کوتاه‌تر می‌شود. تاریخ آغاز یخبندان‌ها در ایستگاه خلخال بین روز ۱ تا روز ۷ ماه اکتبر، در ایستگاه اردبیل بین روز ۹ تا روز ۳۰ ماه اکتبر و در ایستگاه پارس‌آباد بین روز ۱۰ ماه نوامبر تا روز ۸ ماه دسامبر خواهد بود. تاریخ پایان یخبندان‌ها در ایستگاه خلخال بین روز ۱۳ ماه آوریل تا روز ۱۹ ماه می، در ایستگاه اردبیل بین روز ۱۷ ماه آوریل تا روز ۱۸ ماه می و در ایستگاه پارس‌آباد بین روز ۲۶ ماه فوریه تا روز ۲۸ ماه مارس برآورد شده است. **واژگان کلیدی:** پیش‌بینی، یخبندان، HADCM3، استان اردبیل

### مقدمه

تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید و بلایی برای سیاره زمین به شمار می‌آید. تغییرات آب‌وهوایی جدید بیشتر متأثر از افزایش فزاینده دی‌اکسید کربن و بعضی گازهای نادر گلخانه‌ای در اتمسفر است

(Khaliliaghdam & Soltani, 2009). طی چند دهه اخیر، رشد صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل‌زدایی و تخریب محیط‌زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون تخریب طبیعت و گازهای گلخانه‌ای، و ایجاد تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در وضعیت آب‌وهوایی کره زمین شده است؛ به‌طوری‌که در سال‌های اخیر پدیده‌های حدی آب‌وهوایی در بخش‌های مختلف کره زمین به نحو چشم‌گیری افزایش داشته است (Abbasi, Babaeian, Melboosi, Asmari, & Mokhtari, 2012). تغییر آب‌وهوا اغلب به تشدید حوادث آب‌وهوایی می‌انجامد. طبق گزارش‌های IPCC<sup>1</sup> تغییر اقلیم باعث تغییرات هیدرولوژی چند دهه اخیر در سطح جهان شده؛ به‌گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی افزایش یافته است (Hejazizadeh, Fatahi, & Masoumeh Bavani, & Naserzadeh, 2012). یخبندان یکی از پدیده‌های حدی آب‌وهوایی است که جوانب مختلف زندگی انسان از جمله کشاورزی، حمل‌ونقل و انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات یخبندان در بخش کشاورزی بیشتر از بخش‌های دیگر می‌باشد و بیشتر از جنبه زودرس یا دیررس بودن آن نمود پیدا می‌کند (Hejazizadeh & Naserzadeh, 2005).

بررسی تغییر اقلیم و یخبندان در مناطق مختلف موردتوجه محققین بوده است. از جمله مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته، بررسی تغییرات و دگرگونی‌های بارندگی جهان طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۸۸ است که الگوهای مکانی تغییرات بارندگی را با تغییرات میزان دی‌اکسید کربن منطبق دانست (Dai, Fung, & Del Genio, 1997). برآورد بارش‌های شدید انگلستان با مدل اقلیمی HadRM3 نشان از تشدید بارندگی‌ها در دوره‌های آتی دارد (Ekström, Fowler, Kilsby, & Jones, 2005). نتایج حاصل از بررسی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه‌های رودخانه دانیش<sup>2</sup> در دانمارک حاکی از افزایش بارندگی‌ها در دوره‌های آتی است (Andersen et al., 2006). با شبیه‌سازی اقلیمی دوره‌های آتی، و بررسی واکنش سطح دریای خزر نسبت به تغییرات اقلیمی، مشخص گردید که داده‌های حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی، این تغییرات را به‌خوبی نشان می‌دهند (Elguindi & Giorgi, 2006). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان محصول برنج در چین نشان داد که با اعمال تأثیر مستقیم دی‌اکسید کربن در مدل‌سازی، میزان محصول افزایش می‌یابد و در شرایط عدم تأثیر آن، میزان محصول کاهش پیدا می‌کند (Yao, Xu, Lin, & Yokozawa, & Zhang, 2007). تغییر اقلیم بر دبی رودخانه‌ها در حوضه‌های مختلف ایرلند تأثیر خواهد داشت همچنین با تغییر اقلیم میزان بارش زمستانه افزایش و میزان بارش تابستانه کاهش خواهد یافت (Steele-Dunne et al., 2008). رینسدورف و همکار (۲۰۱۳)، در بررسی سرما و یخبندان در اروپای مرکزی و اثر آن بر چغندر قند نشان دادند که در مکان‌های بازمستان معتدل، مانند کلن، چغندر قند آسیب کمی از یخبندان می‌بیند (Reinsdorf & Koch, 2013). دیوید و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی مقاومت انواع مختلف گندم در مقابل آسیب ناشی از دمای انجماد در طول دوره رشد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان از وجود تفاوت معنی‌دار بین انواع مختلف گندم و مقاومت آن در مقابل یخ‌زدگی دارد (Livingston, Tuong, Isleib, & Murphy, 2016). سلطانی و قلی‌پور (۱۳۸۵)، اظهار داشتند که تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود در منطقه‌ی مراغه مؤثر خواهد بود (Soltani & Ghailipur, 2006). آبابایی و همکاران (۱۳۸۹)، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در منطقه رود دشت اصفهان با استفاده از مدل HADCM3 نشان دادند که مجموع بارش سالانه در طول دوره‌ی رشد گیاه و متوسط دمای روزانه افزایش، و عملکرد محصول گندم فاریاب کاهش خواهد یافت (Ababaei, Sohrabi, Mirzaei, Reza & Verdi-Nejad, & Karimi, 2010). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه‌ی رودخانه‌ها در گرگان رود نشان داد که سناریوی B2 از مدل HADCM3 مناسب‌ترین سناریو برای پیش‌بینی تغییر اقلیم منطقه می‌باشد (Modaresi, Araghejad, & Ebrahimi, & Kholghi, 2011). تغییر اقلیم بر میزان بارش دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در حوضه سد گلستان مؤثر خواهد بود؛ طوری که میانگین بارش ماهانه در ایستگاه کریم‌ایشان در فصل پاییز و زمستان تا ۴۳ میلی‌متر افزایش و در بهار و

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 Danish

تابستان تا ۲۳ میلی متر کاهش می یابد (Mahdi zadeh, Meftah Halghi, Seyyed Ghasemi, & Mosaedi, 2011). بررسی توزیع زمانی- مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان نشان داد، به طور متوسط اولین یخبندانهای منطقه در فصل پاییز بین ۷ مهر تا ۲۴ آبان رخ می دهد و میانگین تاریخ خاتمه ی یخبندانها از ۲۰ فروردین تا ۳۰ اردیبهشت است (Mirmosavi & Hosseinbabaii, 2011). تغییر اقلیم و تأثیر آن بر هیدروگراف سیلاب دوره های آتی حوضه آبریز بختیاری نشان داد به طور میانگین، بارندگی حوضه تا ۲۰ درصد کاهش، و دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۱/۵ و ۱ درجه افزایش می یابد (Z Hejazizadeh et al., 2012). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب گندم تبریز با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM2 تحت سناریو A1 مشخص نمود که میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه ی منطقه افزایش و مقدار بارندگی کاهش خواهد یافت (Sarafroozeh, Jalali, Jalali, & Jamali, 2012). ارزیابی شاخص های اقلیم کشاورزی خراسان رضوی تحت شرایط تغییر اقلیم نشان داد که نتایج حاصل از هر مدل نتیجه متفاوت نسبت به مدل دیگر به دست می دهد (Babaeian & Kouhi, 2011). مظفری (۱۳۹۲)، روند تاریخ های آغاز و خاتمه آستانه های دمای صفر و پنج درجه سانتی گراد در ایستگاه های منتخب ایران را طی دوره ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۶ بررسی نمود و نشان داد که تاریخ های آغاز دمای صفر درجه سانتی گراد در ۱۰ ایستگاه دارای روند مثبت و تاریخ خاتمه دمای صفر درجه سانتی گراد در ۶ ایستگاه دارای روند منفی در سطح آلفای ۰/۰۵ می باشند (Mozaffari, 2013). محمودی و همکاران (۱۳۹۲)، با تهیه اطلس اقلیم شناسی و ویژگی های آماری یخبندان های ایران نشان دادند که پهنه شمال غربی ایران دارای زودرس ترین، دیررس ترین و طولانی ترین یخبندانها و کوتاه ترین طول فصل رشد در ایران می باشد (Mahmoudi, Khosravi, Masoudian, & Alijani, 2013). امیدوار و اصلانی (۱۳۹۳)، به بررسی تغییرات زمانی- مکانی یخبندان حوضه زاینده رود در دوره ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۶ پرداختند و نشان دادند که تمام ایستگاه های مورد مطالعه حوضه زاینده رود در دوره سرد سال یخبندان ضعیف تا بسیار شدید را تجربه می کنند. در این حوضه در فصل بهار، یخبندان ضعیف تا آخر فروردین (در ایستگاه های مرتفع تا دهه سوم اردیبهشت) و یخبندان متوسط تنها در ایستگاه های ۲۰۰۰ متر به بالا در فروردین ماه رخ می دهد (Omidvar & Aslani, 2014). آشفته و بزرگ حداد (۱۳۹۴)، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ریسک نیازهای آبی در حوضه رودخانه آیدغموش پرداختند. نتایج این مطالعه نشان از افزایش ریسک تغییرات نیاز آبی دارد (Ashofte & Bozorg Hadad, 2015). احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فرایند تبدیل برف به رواناب در حوضه زاینده رود با استفاده از مدل اقلیمی HADCM3 تحت سناریو A2 نشان دادند که بارش در دهه های آینده روند کاهشی خواهد داشت (Ahmadi, Khorramian, & Safavi, 2015). رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴)، تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب های زیرزمینی حوضه آبریز تسوج را با مدل HADCM3 بررسی نمودند. نتایج نشان از افزایش دما به میزان ۱ درجه سانتی گراد و کاهش بارش برف دارد (Rezaei Banafsheh, Jalali Ensroodi, Zarghami, & Asghari Moghadam, 2015). خسروی و همکاران (۱۳۹۴)، تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از مدل های گردش عمومی جو شبیه سازی نموده و نشان دادند که تعداد روزهای یخبندان (به ویژه در ایستگاه های زابل و زاهدان) در دوره آینده (سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۴۰) کاهش خواهد یافت (Khosravi, Tavousi, & Zohraei, 2015). اوسطی و همکاران (۱۳۹۴)، روند تغییرات جریان در رودخانه های سراب کرخه را با عنوان شواهدی از آثار تغییر اقلیم بر سیستم منابع آب بررسی نموده و نشان دادند بخشی از تغییرات متغیرهای جریان به ویژه در دبی های پایه کاملاً با بارش توجیه نمی شود و می تواند از تغییرات دما یا عواملی مانند افزایش بهره برداری از آب های زیرزمینی متأثر باشد (Osati et al., 2015). بهمنش و همکاران (۱۳۹۴)، اثرات تغییر اقلیم را بر تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار هوا در منطقه ارومیه بر اساس مدل HADCM3 بررسی نموده و نشان دادند بارندگی در فصل بهار در هر سه دوره (در مقایسه با دوره پایه) کاهش و پارامتر مذکور در فصل پاییز افزایش خواهد یافت (Bahmanesh, 2015).

(Azad Talatape, Montaseri, Rezaei, & Khalili, 2015). دارند و مسعودیان (۱۳۹۴)، مدت‌زمان انتظار رخداد یخبندان در ایران را در دوره ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ بررسی نموده و نشان دادند که در اردبیل، مناطق بین سنندج- همدان، تهران- سمنان و شهرکرد نسبت به سایر مناطق کشور فاصله زمانی بین رخداد دو یخبندان متوالی بسیار کوتاه است (Darand & Masoodian, 2015). محمودی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی رابطه بین الگوهای پیوند از دور و یخبندان‌های فراگیر در ایران پرداختند. نتایج نشان داد فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر در فصل زمستان و همچنین در مقیاس سالانه، تنها با الگوی اطلس شرقی رابطه معنادار نشان می‌دهد و این رابطه یک رابطه معکوس می‌باشد (Mahmoudi, Khosravi, Mas'udiyan, & Alijani, 2015). مسعودیان و دارند (۱۳۹۴)، با بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران مشخص نمودند در بیشتر گستره ایران روند تعداد روزهای یخبندان رو به کاهش است (Massoudian & Darand, 2015). کاظمی راد و محمدی (۱۳۹۴)، در بررسی تغییرات اقلیمی استان گیلان با استفاده از مدل‌های اقلیمی نشان دادند که در دوره ۲۰ سال آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، دماهای کمینه و بیشینه به مقدار ۰/۴ درجه سانتی‌گراد، تعداد روزهای خشک ۱۲ روز و تعداد روزهای داغ ۳ روز افزایش می‌یابد؛ و میانگین بارندگی ۱۵/۲ میلی‌متر، تعداد روزهای تر ۱۱ روز و تعداد روزهای یخبندان ۵ روز کاهش می‌یابد (Kazemirad & Mohammadi, 2015).

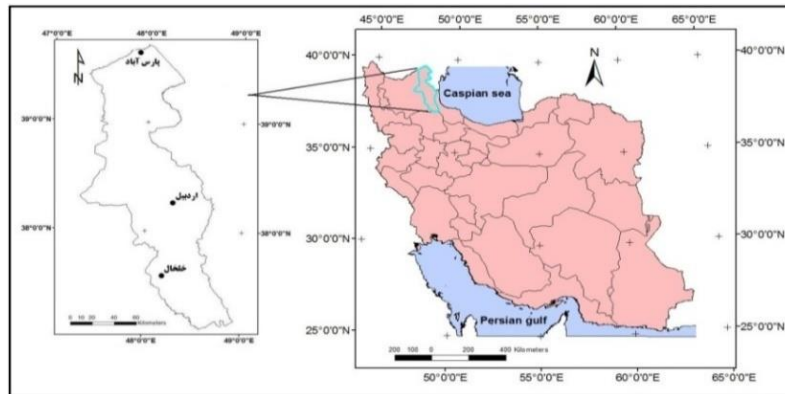
بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که در اکثر موارد تغییر اقلیم بر عناصر و پارامترهای مورد مطالعه تأثیر داشته و در دوره‌های آینده عناصر و پدیده‌های اقلیمی نسبت به دوره گذشته دچار تغییر می‌شود. یکی از پدیده‌های مهم آب‌وهوایی که مناطق سردسیر کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد، یخبندان‌های زودرس و دیررس می‌باشد. در استان اردبیل در بیشتر سال‌ها این پدیده آسیب زیادی به محصولات کشاورزی وارد می‌نماید. یکی از علل گسترده بودن خسارات ناشی از یخبندان‌ها، ناشناخته ماندن ابعاد و ماهیت آن می‌باشد. بحث پیش‌بینی یخبندان‌ها یکی از مسائلی است که در صورت اجرایی شدن آن می‌تواند کمک بسیار بزرگی برای کاهش اثرات سوء این پدیده باشد. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی پدیده‌های اقلیمی به کار گرفته می‌شود؛ اما بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان پیش‌بینی واقع‌بینانه‌ای را انجام داد. بنابراین هدف اصلی تحقیق حاضر پیش‌بینی و تحلیل تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. که ضمن این هدف اصلی؛ توانایی مدل‌های مختلف اقلیمی و روش ریزگردانی در شبیه‌سازی و بازتولید دمای حداقل روزانه، و میزان تغییرات دمای حداقل روزانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره گذشته بررسی شود.

## مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده این تحقیق عناصر بارندگی، دمای کمینه، بیشینه و ساعات آفتابی به‌صورت روزانه در دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶) در ایستگاه‌های استان اردبیل می‌باشد (جدول ۱). موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ مشخص شده است. پس از تهیه داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور، با استفاده از آزمون ران‌تست همگنی و تصادفی بودن داده‌ها بررسی و در سطح ۹۵ درصد تأیید شد.

جدول ۱- ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	ارتفاع از سطح دریا (M)
پارس‌آباد	۳۹° ۳۹'	۴۷° ۵۵'	۳۱/۹
اردبیل	۳۸° ۱۵'	۴۸° ۱۷'	۱۳۳۲
خلخال	۳۷° ۳۸'	۴۸° ۳۱'	۱۷۹۶



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق میانگین دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های استان اردبیل برای دوره‌های آینده (بازه زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰)، جهت تحلیل تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌ها پیش‌بینی می‌شود (یخبندان در این پژوهش افت درجه حرارت به صفر و زیر صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است). برای این منظور از شبیه‌سازی حاصل از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. ابتدا از بین ۹ مدل اقلیمی BCM2.0، CNRMCM3، CSIROCM3.0، HADCM3، FGOALS-g1.0، CGCM3T63، GISS-AOM-Mean، IPSLCM4 و INMCM3.0 یک مدل که بیشترین توانایی را در پیش‌بینی داشته است به‌عنوان مدل مورد استفاده انتخاب می‌شود. از این طریق سعی می‌شود عدم قطعیت موجود در مدل انتخاب شده کاهش یابد.

برای کاهش عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی می‌توان میانگین ماهانه متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل گردش عمومی جو را با داده‌های مشاهداتی دوره پایه ایستگاه‌ها مقایسه نمود تا از این طریق میزان کارایی مدل در شبیه‌سازی مشخص گردد (Babaeian & Kouhi, 2011). بنابراین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی ۹ مدل اقلیمی ذکر شده با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ با داده‌های واقعی ایستگاه‌ها مقایسه شده و یک مدل کارا تر انتخاب می‌شود. با این روش برخلاف بسیاری از مطالعات دیگر که انتخاب مدل مورد استفاده بدون توجه به توان مدل‌های دیگر و مقایسه آن‌ها صورت می‌گیرد، در این تحقیق ابتدا مدل با توانایی بالاتر انتخاب و از داده‌های آن استفاده می‌شود.

پس از انتخاب مدل کارا تر؛ با توجه به بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی این مدل‌ها، خروجی مدل با استفاده از روش ریزگردانی آماری LARS-WG<sup>۱</sup> در حد ایستگاه‌های مورد مطالعه کوچک مقیاس می‌شوند. مدل LARS-WG یکی از مولدهای داده‌ی تصادفی هواشناسی است و برای تولید داده‌های تابش، بارش و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به کار می‌رود (Semenov, Brooks, Barrow, & Richardson, 1998). در این مدل فرایند تولید داده‌های مصنوعی آب‌وهوایی در سه مرحله کالیبره کردن مدل، صحت‌سنجی مدل و در نهایت تولید داده برای دوره آینده صورت می‌گیرد (Hejazizadeh et al., 2012). برای صحت‌سنجی مدل از روابط ۱ و ۲ و آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده می‌شود (Aliyari, Teshnelab, & Khaki, 2008).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱) جذر میانگین مربعات خطا}$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n |o_i - e_i|}{n} \quad \text{رابطه (۲) میانگین قدر مطلق انحرافات}$$

در این روابط  $o_i$  و  $e_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در زمان  $i$  و  $\bar{o}$  و  $\bar{e}$  به ترتیب میانگین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

در شبیه‌سازی که برای دوره‌های آینده صورت می‌گیرد، با توجه به نبود داده‌های واقعی برای آن دوره‌ها؛ امکان بررسی دقت نتایج مدل‌ها وجود ندارد مگر اینکه با گذشت زمان داده‌های جدید در ایستگاه‌ها ثبت گردد و امکان مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی مهیا شود. در این پژوهش داده‌های پایه مورد استفاده تا سال ۲۰۱۰ می‌باشد و شبیه‌سازی انجام شده نیز از سال ۲۰۱۱ شروع می‌شود. با توجه به طی شدن زمانی حدود ۶ سال از شروع شبیه‌سازی (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷)؛ و وجود داده‌های واقعی برای این محدوده زمانی، داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی ایستگاه‌ها مقایسه می‌گردد و دقت مدل مشخص می‌شود. با بررسی مطالعات مشابه مشخص گردید که این کار برای اولین بار در تحقیق حاضر انجام شده است. در ادامه با مقایسه داده‌های تولید شده دوره‌های آینده با داده‌های دوره گذشته، میزان تغییر دمای حداقل دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته مشخص می‌گردد. در نهایت جهت استخراج یخبندان‌های زودرس و دیررس در دوره‌های آینده؛ سری داده‌ها به صورت تاریخ ژولایوسی تنظیم می‌شوند که روزشمار اول داده‌ها روز اول ماه اکتبر میلادی می‌باشد. پس از تعیین یخبندان‌های زودرس و دیررس، تاریخ‌های آغاز و پایان این یخبندان‌ها بررسی می‌شود.

### یافته‌های پژوهش

#### انتخاب مدل گردش عمومی جو

برای انتخاب مدل کارآمد گردش عمومی جو خروجی داده‌های ۹ مدل اقلیمی با داده‌های متناظر پایه ایستگاه‌ها مقایسه گردید. مقادیر خطای مدل‌های مختلف در شبیه‌سازی محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده‌اند. با توجه به مقادیر خطایی که به دست آمد، در اکثر موارد مدل اقلیمی HADCM3 در مقایسه با مدل‌های دیگر خطای کمتری در شبیه‌سازی دارد. بنابراین مدل HADCM3 قابلیت بیشتری در مدل‌سازی دارد و قطعیت نتایج حاصل از آن بیشتر از مدل‌های دیگر است. با توجه به اینکه این مدل در شبیه‌سازی داده‌های پایه کارایی قابل قبولی داشته است؛ برای شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه برای دوره آینده استفاده گردید.

**جدول ۲- مقادیر خطای مدل‌ها در شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه دوره‌های گذشته در ایستگاه‌ها**

اردبیل		پارس آباد		خلخال		
RMSE	MSE	RMSE	MSE	RMSE	MSE	
۲/۹۰	۰/۱۸	۲/۳۲	۱/۷۷	۲/۱۵	۰/۹۲	BCM2.0
۴/۲۳	۰/۱۷	۲/۸۲	۲/۱۵	۴/۷۵	۱/۲۴	CNRMCM3
۲/۸۳	۰/۴۶	۴/۵۲	۵/۹۷	۴/۱۲	۴/۳۳	CSIROMK 3.0
۱/۰۶	۰/۱۴	۵/۹۳	۱/۵۹	۱/۰۶	۰/۱۴	HADCM3
۴/۳۸	۰/۵۵	۳/۴۲	۱/۷۷	۴/۴۷	۱/۰۷	FGOALS-g1.0
۲/۱۹	۰/۳۳	۲/۵۴	۵/۴۹	۵/۹۰	۰/۲۱	CGCM3T63
۱۵/۸۹	۰/۴۷	۱۴/۶۳	۴۲/۹۹	۳/۸۸	۰/۳۷	GISS-AOM-Mean
۶/۰۹	۰/۴۴	۶/۴۷	۱۶/۷۱	۱/۱۳	۰/۲۳	IPSLCM4
۲/۶۰	۰/۳۳	۱۱/۸۴	۲۹/۳۰	۵/۳۱	۱/۲۷	INMCM3.0

مدل HADCM3 یکی از مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی جوی - اقیانوسی است و توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است. این مدل دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی تا ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک اقیانوسی ۱/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد (Ashraf, Mousavi Bighi, Kamali, & Davari, 2011). از مدل HADCM3 تحت سناریو A2 استفاده شد. این سناریو بیانگر افزایش

جمعیت جهانی، غلظت  $CO_2$ ، متوسط دما و سطح آب دریا به ترتیب تا ۱۵/۱ میلیارد نفر، ۸۳۴ پی پی ام، ۳/۱ درجه سانتی گراد و ۶۲ سانتی متر از سال ۱۹۹۰ تا ۱۰۰ سال آینده می باشد (Khaliliaqdam, Mosaedi, Soltani, & Kamkar, 2013). با توجه به اینکه خروجی مدل های گردش عمومی بزرگ مقیاس بوده و نیاز به ریزگردانی در حد ایستگاه ها دارند، خروجی مدل HADCM3 با مدل LARS-WG کوچک مقیاس می شود. برای این کار ابتدا لازم است صحت سنجی مدل انجام گیرد.

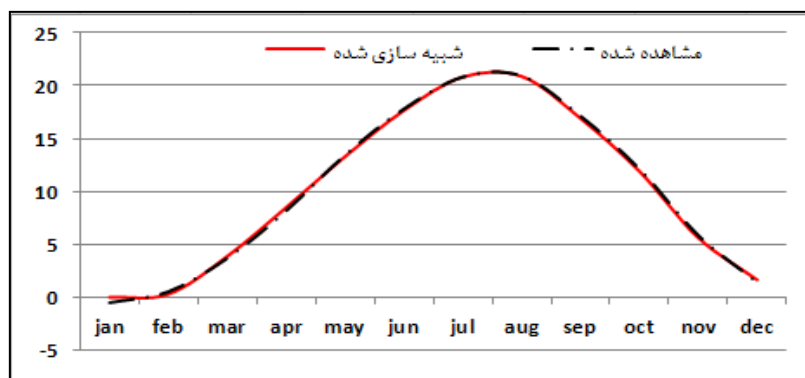
### صحت سنجی مدل LARS-WG

نتایج ارزیابی داده های بازتولید شده ی دوره ی پایه توسط مدل LARS-WG در جداول ۳، ۴ و ۵ و شکل های ۲، ۳ و ۴ بیان شده است. با توجه به نتایج حاصل، مقادیر خطاها زیاد نیست و نشان می دهد که فاصله ی بین داده های بازتولید شده و داده های واقعی کم می باشد. در ایستگاه اردبیل بیشترین خطای موجود در شاخص RMSE به مقدار ۱ درجه ی سانتی گراد در ماه ژانویه، و در ایستگاه پارس آباد بیشترین خطای موجود در شاخص MSE به مقدار ۱/۰۲ درجه ی سانتی گراد در ماه ژانویه می باشد. در ایستگاه خلخال بیشترین خطای موجود در شاخص RMSE به مقدار ۱/۳۸ درجه ی سانتی گراد در ماه ژانویه و بعد از آن ۱/۲۲ درجه ی سانتی گراد در ماه دسامبر می باشد.

بر اساس نتایج حاصل از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و P-value به دست آمده، در اکثر ماه ها اختلاف بین داده های بازتولید شده و مشاهده شده در سطح اطمینان ۰/۹۹ و سطح معنی داری ۰/۰۱ تأیید می شود (به جز در ایستگاه پارس آباد در ماه فوریه، در ایستگاه اردبیل در ماه ژانویه و در ایستگاه خلخال در ماه های ژانویه و دسامبر که سطح اطمینان آزمون پایین تر از ماه های دیگر است و در نمودارها نیز این اختلاف مشخص می باشد). بررسی نمودارهای مقایسه ای در ایستگاه اردبیل و پارس آباد، بیانگر دقت بسیار بالای مدل می باشد. اما در ایستگاه خلخال در ماه های سرد سال خطای مدل بیشتر از دو ایستگاه دیگر است. با این حال مقدار خطا چندان قابل توجه نیست.

جدول ۳- مقادیر RMSE، MSE و آزمون KS و P-value آن در ایستگاه پارس آباد

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
RMSE	۰/۴۹	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۳
MSE	۱/۰۲	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۶
KS statistic	۰/۱۰۶	۰/۱۵۸	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
P-value	۰/۹۹۸	۰/۹۱۲	۱	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸

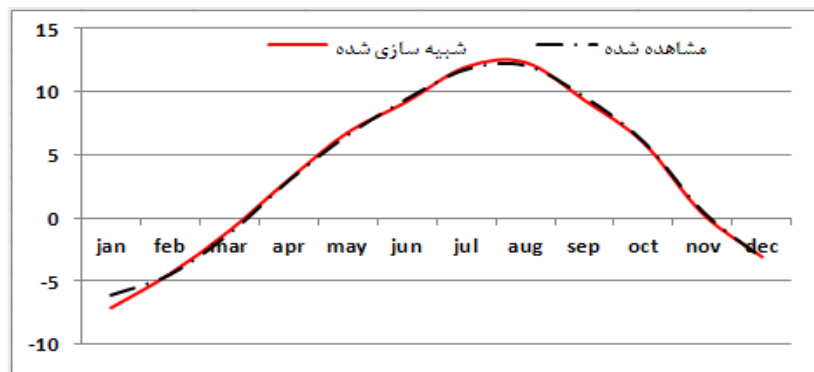


شکل ۲- نمودار مقایسه ای مقادیر بازتولید شده و مشاهده ای میانگین دمای حداقل در ایستگاه پارس آباد



جدول ۴- مقادیر RMSE، MSE و آزمون KS و P-value آن در ایستگاه اردبیل

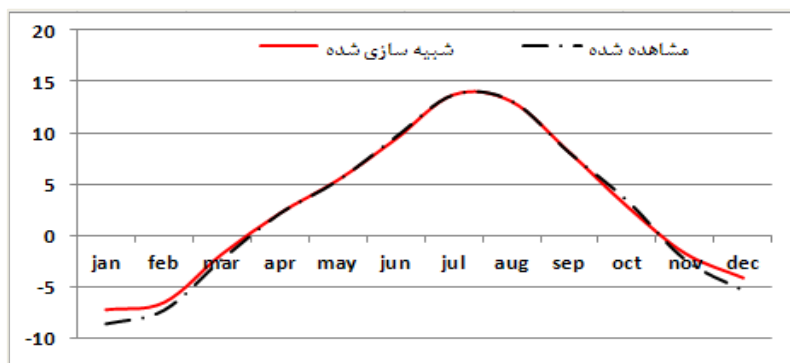
ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۱۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۱۸	RMSE
۰/۱۵۸	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	MSE
۰/۹۱۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۱	۱	۰/۹۹۸	KS statistic
۰/۹۱۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۱	۱	۰/۹۹۸	P-value



شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای مقادیر باز تولید شده و مشاهده‌ای میانگین دمای حداقل در ایستگاه اردبیل

جدول ۵- مقادیر RMSE، MSE و آزمون KS و P-value آن در ایستگاه خلخال

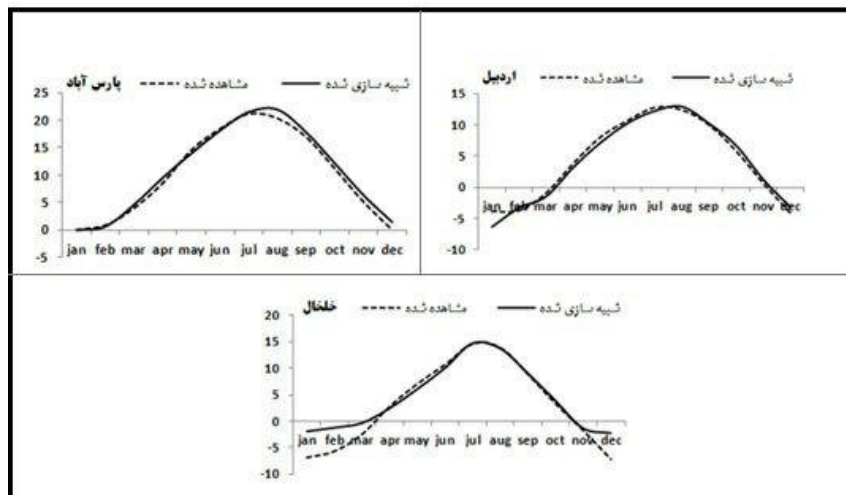
ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۱/۳۸	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۶	۰/۰۴۶	۰/۵۶	۰/۶۲	۱/۲۲	RMSE
۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵۷	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۲۲	MSE
۰/۱۵۸	۰/۱۰۵	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۵۸	KS statistic
۰/۹۱۲	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	P-value



شکل ۴- نمودار مقایسه‌ای مقادیر باز تولید شده و مشاهده‌ای میانگین دمای حداقل در ایستگاه خلخال

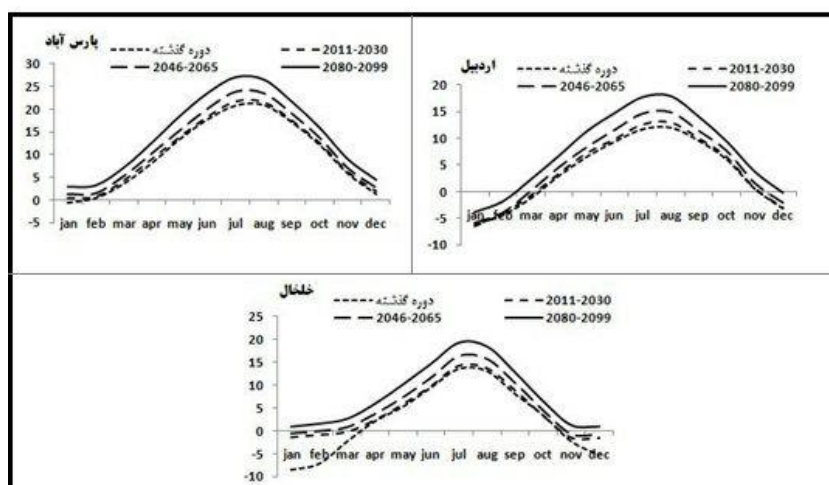
با توجه به کارایی مدل LARS-WG در بازتولید میانگین دمای حداقل برای دوره‌ی پایه، خروجی مدل HADCM3 با مدل ARS-WG در حد ایستگاه‌های کوچک مقیاس گردید.

برای بررسی صحت خروجی مدل HADCM3 در دوره‌های آینده، با توجه به در دست بودن داده‌های واقعی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶؛ داده‌های شبیه‌سازی شده برای این بازه زمانی با داده‌های واقعی مقایسه گردید. نتایج حاصل در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص می‌باشد میانگین ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده تفاوت زیادی با داده‌های واقعی ایستگاه‌ها ندارد و توانایی مدل قابل قبول می‌باشد (به جز در ایستگاه خلخال که در دوره سرد اختلاف داده‌ها زیاد می‌باشد).



شکل ۵- مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶

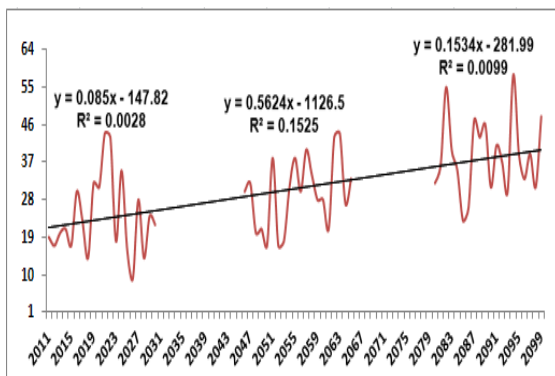
برای مشخص شدن میزان تغییرات دما در دوره‌های آینده نسبت به دوره‌ی گذشته، میانگین دمای ماهانه در دوره‌ها باهم مقایسه شدند (شکل ۶). طوری که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در هر سه دوره آینده مقدار دما نسبت به گذشته افزایش خواهد یافت. در ایستگاه خلخال میزان افزایش دمای حداقل در ماه‌های سرد سال بیشتر خواهد بود. در بخش صحت‌سنجی مدل بیان شد که در ایستگاه خلخال در ماه‌های سرد سال خطای مدل بیشتر از دو ایستگاه دیگر است. در داده‌های شبیه‌سازی شده نیز در این ماه‌ها میزان دما با افزایش زیادی برآورد شده است. بنابراین احتمال وجود خطا در این برآوردها وجود دارد.



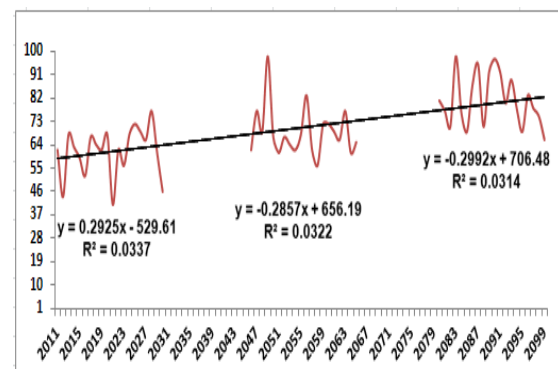
شکل ۶- مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه دوره‌های آینده با دوره گذشته

## تاریخ‌های آغاز یخبندان

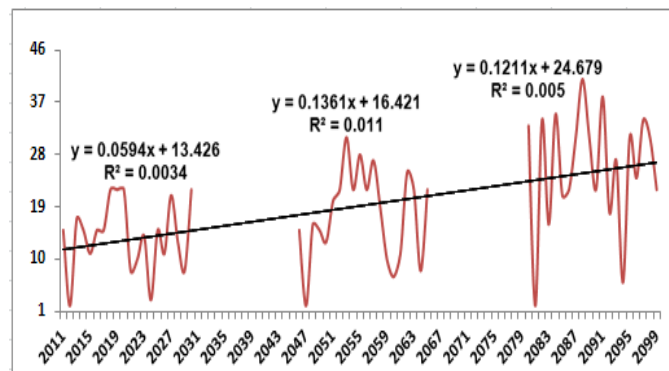
پس از شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه برای دوره‌های آینده، برای تحلیل تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌ها، سری داده‌ها به صورت تاریخ ژولیوسی تنظیم شدند. نتایج تحلیل تاریخ‌های آغاز و پایان وقوع یخبندان‌ها در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ و جدول ۶ بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد که تاریخ شروع یخبندان‌ها در دوره‌های آینده به تأخیر می‌افتد. طوری که شروع یخبندان‌ها با گذشت زمان به اواخر فصل پاییز و حتی فصل زمستان نزدیک می‌شود. با تحلیل رگرسیونی این تاریخ‌ها مشخص می‌شود که روند کلی روزشمار تاریخ شروع یخبندان‌ها افزایشی می‌باشد. اما روند هر دوره نسبت به دوره‌های دیگر متفاوت است. در ایستگاه‌های اردبیل و خلخال معادلات روند خطی در هر سه دوره مثبت و افزایشی بوده است. در ایستگاه اردبیل و خلخال بیشترین روند افزایش در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ به ترتیب با میزان ۰/۵۶۲۴ و ۰/۱۳۶۱ روز در سال به سمت فصل زمستان می‌باشد. در ایستگاه پارس‌آباد روزشمار تاریخ‌های شروع یخبندان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ افزایشی با میزان ۰/۲۹۲۵ روز در سال، و در دوره‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ منفی و کاهشی است؛ طوری که به ترتیب دوره با مقدار ۰/۲۸۵۷ و ۰/۲۹۹۲ روز در سال به سمت فصل تابستان حرکت می‌کند. در جدول ۶ تاریخ زودرس‌ترین یخبندان رخ داده در هر دهه از دوره‌های شبیه‌سازی شده بیان شده است. در ایستگاه اردبیل و خلخال اولین یخبندان‌ها در ماه اکتبر خواهد بود. در ایستگاه پارس‌آباد به علت ماهیت گرمسیری آن، تاریخ‌های مذکور در ماه نوامبر و دسامبر برآورد شده است.



شکل ۸- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار آغاز یخبندان‌های ایستگاه اردبیل در دوره‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۷- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار آغاز یخبندان‌های ایستگاه پارس‌آباد در دوره‌های شبیه‌سازی شده



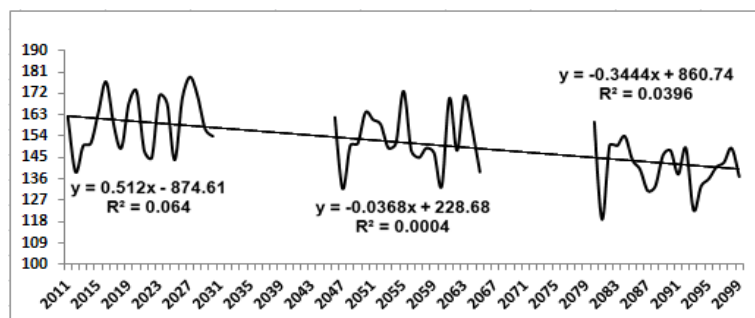
شکل ۹- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار آغاز یخبندان‌های ایستگاه خلخال در دوره‌های شبیه‌سازی شده

جدول ۶- تاریخ زودرس ترین یخبندان رخ داده در هر دهه از دوره‌های شبیه‌سازی شده

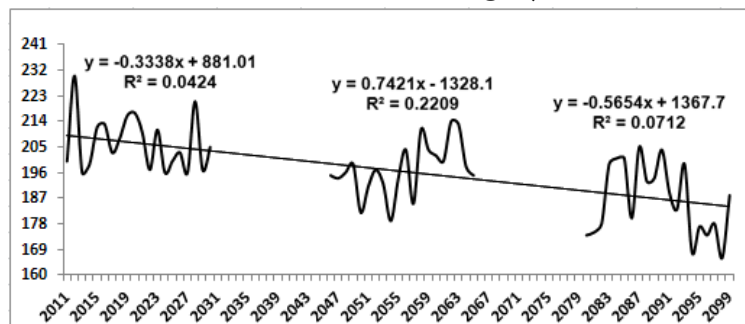
دهه‌های دوره شبیه‌سازی	پارس آباد	اردبیل	خلخال
۲۰۱۱ - ۲۰۲۰	۱۳ نوامبر	۱۴ اکتبر	۲ اکتبر
۲۰۲۱ - ۲۰۳۰	۱۰ نوامبر	۹ اکتبر	۴ اکتبر
۲۰۴۶ - ۲۰۵۵	۳۰ نوامبر	۱۷ اکتبر	۲ اکتبر
۲۰۵۶ - ۲۰۶۵	۲۵ نوامبر	۲۱ اکتبر	۷ اکتبر
۲۰۸۰ - ۲۰۸۹	۸ دسامبر	۲۳ اکتبر	۱ اکتبر
۲۰۹۰ - ۲۰۹۹	۴ دسامبر	۳۰ اکتبر	۶ اکتبر

### تحلیل تاریخ‌های پایان یخبندان

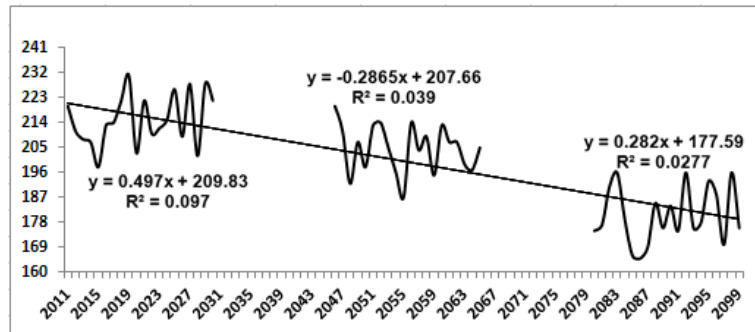
بررسی سری زمانی پایان یخبندان‌ها در دوره‌های شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که آخرین یخبندان‌ها با گذشت زمان به سمت فصل زمستان عقب‌نشینی می‌کند. با بررسی تحلیل رگرسیونی این تاریخ‌ها مشخص می‌شود که روند کلی روزشمار تاریخ‌ها کاهشی می‌باشد. اما روند هر دوره نسبت به دوره دیگر متفاوت است. در ایستگاه پارس آباد معادلات روند خطی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به مقدار ۰/۵۱۲ روز در سال افزایشی، و در دوره‌های دیگر کاهشی می‌باشد. در ایستگاه اردبیل روند دوره دوم افزایشی، و دوره‌های اول و سوم کاهشی خواهد بود. در ایستگاه خلخال روند دوره دوم کاهشی و دوره‌های اول و سوم افزایشی خواهند بود. در جدول ۷ تاریخ دیررس‌ترین یخبندان رخ داده در هر دهه از دوره‌های شبیه‌سازی بیان شده است. در ایستگاه اردبیل و خلخال آخرین یخبندان‌ها در ماه‌های آوریل و می، رخ خواهد داد. در ایستگاه پارس آباد در اکثر موارد یخبندان‌ها در ماه مارس به اتمام می‌رسند و دیررس‌ترین یخبندان این ایستگاه در ۲۸ ماه مارس در دهه ۲۰۲۱-۲۰۳۰ خواهد بود.



شکل ۱۰- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار پایان یخبندان‌های ایستگاه پارس آباد در دوره‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۱۱- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار پایان یخبندان‌های ایستگاه اردبیل در دوره‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۱۲- نوسان و روند تغییرات سری زمانی روزشمار پایان یخبندان‌های ایستگاه خلخال در دوره‌های شبیه‌سازی شده

جدول ۷- تاریخ دیررس‌ترین یخبندان رخ داده در هر دهه از دوره‌های شبیه‌سازی شده

دهه‌های دوره شبیه‌سازی	پارس‌آباد	اردبیل	خلخال
۲۰۲۰ - ۲۰۱۱	۲۶ مارس	۱۸ می	۱۹ می
۲۰۳۰ - ۲۰۲۱	۲۸ مارس	۹ می	۱۶ می
۲۰۵۵ - ۲۰۴۶	۲۲ مارس	۱۷ آوریل	۵ می
۲۰۶۵ - ۲۰۵۶	۲۰ مارس	۲ می	۲۸ آوریل
۲۰۸۹ - ۲۰۸۰	۹ مارس	۲۳ آوریل	۱۳ آوریل
۲۰۹۹ - ۲۰۹۰	۲۶ فوریه	۲۲ آوریل	۱۳ آوریل

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان ایستگاه‌های استان اردبیل برای دوره‌های آتی پیش‌بینی و تحلیل شد. برای این پیش‌بینی از خروجی مدل‌های اقلیمی استفاده گردید. برای انتخاب مدل کارآمد گردش عمومی جو، خروجی داده‌های دمای حداقل روزانه ۹ مدل اقلیمی با داده‌های متناظر پایه ایستگاه‌ها مقایسه شد. در اکثر موارد مدل اقلیمی HADCM3 در مقایسه با مدل‌های دیگر خطای کمتری در شبیه‌سازی داشت. با توجه به اینکه این مدل در شبیه‌سازی داده‌های پایه کارایی بهتری داشت؛ بنابراین از داده‌های شبیه‌سازی شده آن استفاده گردید. در ادامه با مقایسه داده‌های بازتولید شده و مشاهده‌ای میانگین دمای حداقل ایستگاه‌ها، مشخص گردید که مدل LARS-WG در ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل HADCM3 دارای دقت قابل قبول می‌باشد. پس از انتخاب مدل اقلیمی و آزمون کارایی روش ریزمقیاس نمایی، حداقل دمای روزانه برای دوره‌های آینده شبیه‌سازی گردید. بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده دوره‌های آینده نشان داد که در این دوره‌ها مقدار دمای حداقل روزانه نسبت به دوره‌های گذشته افزایش خواهد یافت. بر اساس داده‌های دمای حداقل روزانه شبیه‌سازی شده تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌ها بررسی شدند. بررسی‌ها نشان داد تاریخ آغاز یخبندان‌ها در دوره‌های آینده به تأخیر خواهد افتاد طوری که شروع یخبندان‌ها باگذشت زمان به اواخر فصل پاییز و زمستان نزدیک می‌شوند. تاریخ پایان یخبندان‌ها نیز باگذشت زمان به فصل زمستان نزدیک‌تر می‌شوند. روند کلی روزشمار تاریخ آغاز یخبندان‌ها افزایشی و روزشمار تاریخ پایان آن‌ها کاهش می‌باشد. در ایستگاه اردبیل و خلخال تاریخ رخداد اولین یخبندان‌ها در ماه اکتبر خواهد بود. در ایستگاه پارس‌آباد تاریخ‌های مذکور در ماه نوامبر و دسامبر برآورد شده است. آغاز یخبندان در ایستگاه خلخال بین روز ۱ تا روز ۷ ماه اکتبر، در ایستگاه اردبیل بین روز ۹ تا روز ۳۰ ماه اکتبر و در ایستگاه پارس‌آباد بین روز ۱۰ ماه نوامبر تا روز ۸ ماه دسامبر خواهد بود. آخرین یخبندان‌ها در ایستگاه اردبیل و خلخال در ماه‌های آوریل و می رخ خواهد داد و در ایستگاه پارس‌آباد در اکثر موارد یخبندان‌ها در ماه مارس به اتمام می‌رسند. تاریخ پایان یخبندان‌ها در ایستگاه خلخال بین روز ۱۳ ماه آوریل تا روز ۱۹ ماه می، در ایستگاه اردبیل بین روز ۱۷ ماه آوریل تا روز ۱۸ ماه می؛ و در ایستگاه پارس‌آباد بین روز ۲۶ ماه فوریه تا روز ۲۸ ماه مارس برآورد شده است.

نتایج نشان می دهد طول دوره ی یخبندان ایستگاه های استان اردبیل در دوره های آینده کوتاه تر، و طول دوره رشد بیشتر خواهد شد. این شرایط در ایستگاه پارس آباد بیشتر مشهود است. برای نمونه فاصله بین اولین و آخرین یخبندان در سال ۲۰۹۳ این ایستگاه ۳۵ روز خواهد بود. از این ۳۵ روز، دما در ۱۲ روز منفی خواهد بود. در سال ۲۰۸۷، ۳۷ روز طول دوره ی یخبندان خواهد بود که در ۹ روز آن دمای منفی رخ می دهد. نتایج پژوهش حاضر همانند نتایج بسیاری از تحقیقات نشان دهنده تغییرات قابل توجه در شرایط آب و هوایی آینده است (Bahmanesh et al., 2015; Mirmosavi & Ahmadi et al., 2015; Hosseinbabaii, 2011; Modaresi et al., 2011; Steele-Dunne et al., 2008). در دوره های آینده دمای حداقل روزانه و تاریخ های آغاز و پایان یخبندان ها در ایستگاه های استان اردبیل تغییر قابل توجهی نسبت به دوره گذشته خواهند داشت. بنابراین لازم است در برنامه ریزی های مختلف به ویژه در ارتباط با مسائل کشاورزی این موارد مورد توجه قرار گیرد.

**سهم نویسندگان:** بهروز سبحانی (نویسنده اول)، نگارنده بحث، مقدمه، نتیجه گیری (۵۰٪)، اکبر گل دوست (نویسنده دوم، مسئول)، نگارنده روش شناسی، تحلیل گر آماری (۵۰٪)

### منابع و مآخذ

- Ababaei, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., Reza Verdi-Nejad, V., & Karimi, B. (2010). Effect of climate change on wheat yield and its risk analysis (Case study: Isfahan plain area). *Knowledge of Water and Soil*, 20.1(3), 135-150. (Persian)
- Abbasi, F., Babaeian, A., Melboosi, S., Asmari, M., & Mokhtari, L. G. (2012). Estimation of Iran's climate change in the coming decades (2025-2100 BC) using an explicit microscale of data from the general circulation model of barley. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 27(1), 205-230. (Persian)
- Ahmadi, A., Khorramian, A., & Safavi, H. R. (2015). Investigating the effects of climate change on the process of snow to runoff, Case study: Zayandehrood Basin. *Iran Water Resources Research*, 11(2), 70-82. (Persian)
- Aliyari, M., Teshnelab, M., & Khaki, A. (2008). Short-term prediction of air pollution with the help of multi-layered perceptron neural networks, latency line, gamma and ANFIS with PSO-based teaching methods. *Journal of Control*, 2(1), 1-19. (Persian)
- Andersen, H. E., Kronvang, B., Larsen, S. E., Hoffmann, C. C., Jensen, T. S., & Rasmussen, E. K. (2006). Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 365(1-3), 223-237. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2006.02.036]
- Ashofte, P., & Bozorg Hadad, O. (2015). Assessments of risk-based of crops water requirement under climate change using AOGCMs. *Journal of Range and Watershed Managment*, 68(3), 441-457. (Persian)
- Ashraf, B., Mousavi Bighi, M., Kamali, G., & Davari, K. (2011). Preliminary estimation of sugar beet juice demand in the period 2030-2011 by using climatic data simulated by LARS-WG micro-scaling model. *Journal of Soil and Water*, 25(5), 1184-1196. (Persian)
- Babaeian, A., & Kouhi, M. (2011). Evaluation of agricultural climate indices under climate change scenarios in selected stations in Khorasan Razavi. *Journal of Water and Soil*, 26(4), 953-967. (Persian)
- Bahmanesh, J., Azad Talatpe, N., Montaseri, M., Rezaei, H., & Khalili, K. (2015). Effect of climate change on reference evapotranspiration, rainfall shortage and air vapor pressure in Urmia. *Knowledge of Water and Soil*, 25(2), 79-91. (Persian)
- Dai, A., Fung, I. Y., & Del Genio, A. D. (1997). Surface observed global land precipitation variations during 1900-88. *Journal of Climate*, 10(11), 2943-2962. [DOI:10.1175/1520-0442(1997)0102.0.CO;2]
- Darand, M., & Masoodian, S. A. (2015). Waiting time of frost occurrence over Iran. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 30(1), 81-94. (Persian)
- Ekström, M., Fowler, H. J., Kilsby, C. G., & Jones, P. D. (2005). New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *Journal of Hydrology*, 300(1), 234-251. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2004.06.019]
- Elguindi, N., & Giorgi, F. (2006). Simulating multi-decadal variability of Caspian Sea level changes using regional climate model outputs. *Climate Dynamics*, 26(2-3), 167-181. [DOI:10.1007/s00382-005-0077-5]
- Hejazizadeh, Z., Fatahi, A., Masoumeh Bavani, A., & Naserzadeh, M. H. (2012). Evaluating the effect of climate change on flood hydrograph in future periods Case study: Bakhtiari basin. *Geography*, 10(34), 5-24. (Persian)
- Hejazizadeh, Z., & Naserzadeh, M. H. (2005). Calculating and analyzing the continuity of freezing clocks using delphi language programming. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 20(1), 139- 150. (Persian)

- Kazemirad, L., & Mohammadi, H. (2015). Evaluation of the proper model of atmospheric circulation for forecasting climate change in Guilan province. *Geography and Environmental Hazards*, 4(16), 55-74. (Persian)
- Khaliliaghdam, N., & Soltani, A. (2009). Assessment of climate change during last fifty years in Urmia. *Journal of Water and Soil Conservation Studies*, 16(4), 141-151. (Persian)
- Khaliliaqdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., & Kamkar, B. (2013). Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 19(4), 85-102. (Persian)
- Khosravi, M., Tavousi, T., & Zohraei, A. (2015). Simulation of climate change in Sistan and Baluchestan for the period 2009-2040 by using downscaling the data of global circulation model. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 30(3), 185-205. (Persian)
- Livingston, D. P., Tuong, T. D., Isleib, T. G., & Murphy, J. P. (2016). Differences between wheat genotypes in damage from freezing temperatures during reproductive growth. *European Journal of Agronomy*, 74, 164-172. [DOI:10.1016/j.eja.2015.12.002]
- Mahdi zadeh, M., Meftah Halghi, M., Seyyed Ghasemi, S., & Mosaedi, A. (2011). Investigating the Effect of Climate Change on Precipitation in Golestan Dam Basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(3), 117-132. (Persian)
- Mahmoudi, P., Khosravi, M., Mas'udiyan, S. A., & Alijani, B. (2015). Relationship between tele connection patterns and Iran's pervasive frosts. *Geography and Development*, 13(40), 175-193. (Persian)
- Mahmoudi, P., Khosravi, M., Masoudian, S. A., & Alijani, B. (2013). Atlas of climatology of Iran's statistical characteristics of glaciers. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 28(4), 55-66. (Persian)
- Massoudian, S. A., & Darand, M. (2015). Investigating the trend of the number of freezing days in Iran. *Geography and Development*, 13(39), 49 - 60. (Persian)
- Mirmosavi, S. H., & Hosseinbabaii, M. (2011). Study of temporal-spatial distribution of the probability of freezing in Zanjan province. *Geography Magazine and Environmental Planning*, 22(3), 167- 184. (Persian)
- Modaresi, F., Araghinejad, S., Ebrahimi, K., & Kholghi, M. (2011). Investigating the effect of climate change on annual discharge of rivers (Case study: Gorganrood River). *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1365-1377. (Persian)
- Mozaffari, G. (2013). Investigation of the process of beginning and end dates of zero and five degrees Celsius temperatures at Iran's selected stations. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 28(2), 93-111. (Persian)
- Omidvar, K., & Aslani, A. (2014). Analyzing and analyzing the temporal and spatial changes of glaciation in Zayandehrud Basin. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 29(114), 147-164. (Persian)
- Osati, K., Salajegheh, A., Mahdavi, M., Koeniger, Chapi, K., & Malekian, A. (2015). Trend analysis of streamflow in Karkheh Rivers upstream: An evidence for climate change impacts on water resources systems. *Journal of Range and Watershed Managment*, 68(3), 659-674. (Persian)
- Reinsdorf, E., & Koch, H.-J. (2013). Modeling crown temperature of winter sugar beet and its application in risk assessment for frost killing in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182, 21-30. [DOI:10.1016/j.agrformet.2013.08.001]
- Rezaei Banafsheh, M., Jalali Ensroodi, T., Zarghami, M., & Asghari Moghadam, A. (2015). Investigating the effect of climate change on the groundwater table level of the so-called Tajik basin by statistical microscale scale. *Iran Water Resources Research*, 11(2), 106-116. (Persian)
- Sarafroozeh, F., Jalali, M., Jalali, T., & Jamali, A. (2012). Evaluation of the effects of future climate change on wheat consumption in Tabriz. *Journal of Geographical Space*, 12(37), 81-96. (Persian)
- Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10(2), 95-107. [DOI:10.3354/cr010095]
- Soltani, A., & Ghoulipur, M. (2006). Simulation of the effect of climate change on growth, yield and water consumption of chickpea. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 13(2), 69-79. (Persian)
- Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S., Hanafin, J., & Nolan, P. (2008). The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356(1-2), 28-45. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2008.03.025]
- Yao, F., Xu, Y., Lin, E., Yokozawa, M., & Zhang, J. (2007). Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. *Climatic Change*, 80(3-4), 395-409. [DOI:10.1007/s10584-006-9122-6]